

# О СПЕКТРАХ СВЕРХИЗЛУЧЕНИЯ ИНЖЕКЦИОННЫХ ЛАЗЕРОВ И РАСПРЕДЕЛЕНИИ НЕОДНОРОДНОСТЕЙ ВДОЛЬ $p$ - $n$ -ПЕРЕХОДА

*В.В.Курьлев, А.С.Дочинин, К.Я.Сенаторов*

Исследовались эпитаксиальные и диффузионные лазерные диоды из GaAs, работающие в импульсном режиме при температуре 77°К.

На рис. 1 представлена пространственно-спектральная картина сверхизлучения эпитаксиального лазерного диода. Спектрально-пространственная картина излучения наблюдалась с помощью электронно-оптического преобразователя П-4, помещенного на выходе спектрографа ДФС-8. Сильно увеличенное изображение  $p$ - $n$ -перехода фокусировалось на входную щель спектрографа параллельно ее направлению.

В соответствии с идеализированными моделями следовало бы ожидать, что спектрально-пространственная картина сверхизлучения представляет собой набор эквидистантных вертикальных линий, т.е. длина волны любой продольной моды сверхизлучения должна быть одной и той же для всех точек  $p$ - $n$ -перехода.

Эксперимент же обнаруживает, что длина волны мод сверхизлучения меняется вдоль  $p$ - $n$ -перехода. Пользуясь спектрально-пространственными картинками сверхизлучения, можно получить качественную и количественную информацию о пространственной неоднородности оптических характеристик  $p$ - $n$ -перехода лазерного диода. Будем считать, что длина волны моды сверхизлучения [1, 2] связана с показателем преломления среды и длиной резонатора соотношением

$$q\lambda_q = 2nl, \quad (1)$$

где все обозначения общеприняты. Простые оценки влияния различных параметров, входящих в (1), на длину волны моды сверхизлучения показывают, что единственной реальной причиной наблюдаемой на рис.1 зависимости  $\lambda_q$  от координаты является изменение показателя преломления вещества вдоль  $p$ - $n$ -перехода.

Учитывая дисперсию показателя преломления у края полосы поглощения [3], примем  $n = n(\lambda, x)$ . При этом условии из (1) легко получить выражение для коэффициента пропорциональности между изменением длины волны моды  $d\lambda_q/dx$  и изменением показателя преломления  $dn/dx$ :

$$\frac{dn}{dx} = \frac{n}{\lambda_q} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda_q}{n} \right) \left( \frac{dn}{d\lambda} \right) \right] \frac{d\lambda_q}{dx} \quad (2)$$

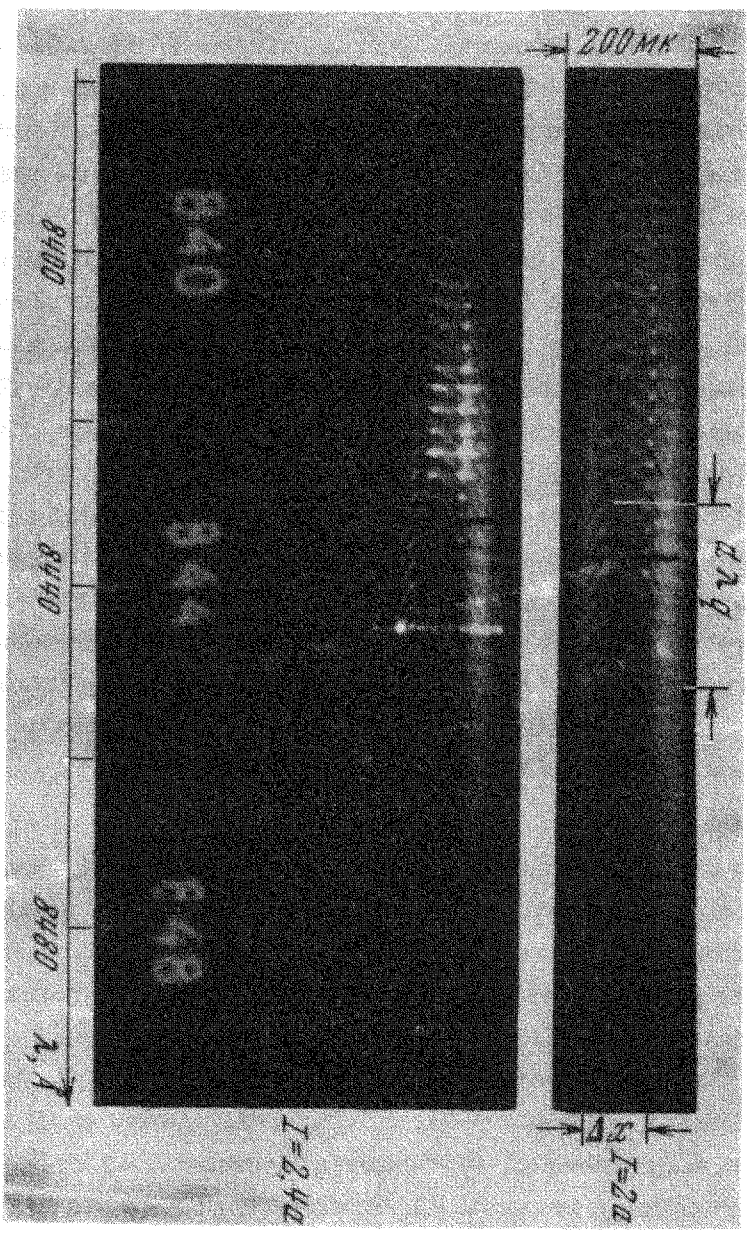


Рис.1. Спектрально-пространственная картина излучения эпитаксиального лазерного диода

Величину коэффициента пропорциональности можно определить, зная интервал  $\Delta\lambda$  между соседними модами продольных колебаний резонатора, который связан с другими характеристиками резонатора выражением

$$\Delta\lambda = \frac{\lambda^2}{2nl} \left[ 1 - \left( \frac{\lambda}{n} \right) \left( \frac{dn}{d\lambda} \right) \right]^{-1} \quad (3)$$

Для GaAs при  $l = 260 \text{ мк}$ ;  $\Delta\lambda = 2,5 \text{ \AA}$ ;  $n = 3,58$  получим

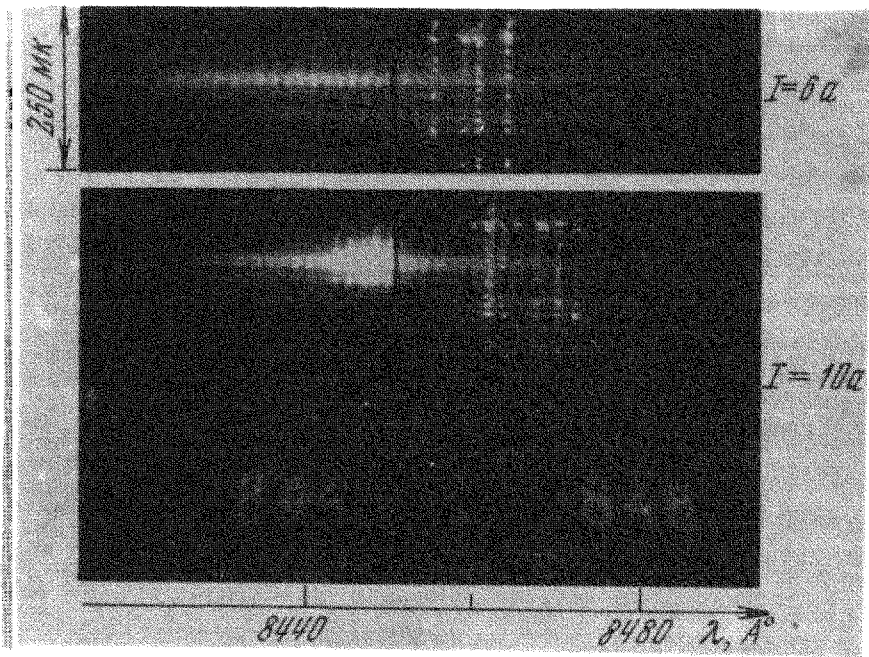


Рис.2. Спектрально-пространственная картина излучения диффузионного лазерного диода

$$\frac{dn/dx}{d\lambda_q/dx} = 6 \cdot 10^{-4} \text{ \AA}^{-1} \quad (4)$$

Для рис. 1 максимальное изменение длины волны моды излучения  $d\lambda_q$  на длине  $p$ - $n$ -перехода  $\Delta x = 110 \text{ мк}$  равно  $\sim 20 \text{ \AA}$ , что в соответствии с (4) дает  $\Delta n \cong 10^{-2}$ .

Стерн [3], указывая на зависимость показателя преломления от ширины запрещенной зоны, приводит для связи изменения  $\Delta n$  с изменениями  $\Delta E_g$  в GaAs соотношение

$$\frac{\Delta n}{\Delta E_g} = -0,8 \text{ эВ}^{-1} \quad (5)$$

Используя эту зависимость и результат, изображенный на рис. 1, можно получить значение  $\Delta l$ , исходя из других соображений, нежели из использованных при выводе соотношения (4).

На рис. 1 хорошо заметно, что положение максимума спектра спонтанного излучения меняется вдоль  $p$ - $n$ -перехода. Определяя этот сдвиг максимума  $\delta \lambda$  на рассматриваемом участке  $\Delta x$  и используя обычное соотношение для связи  $\delta \lambda$  с  $\Delta E_p$ , далее с помощью (5) получим  $\Delta l \approx 10^{-2}$ .

Эти результаты позволяют полагать, что в полупроводниковой структуре с  $p$ - $n$ -переходом причиной изменения длины волны моды сверхизлучения вдоль  $p$ - $n$ -перехода является изменение показателя преломления, связанное с неоднородностью ширины запрещенной зоны.

Этот вывод практически интересен тем, что он позволяет предложить методику исследования оптических неоднородностей в  $p$ - $n$ -переходе. Кроме того, изучая градиент показателя преломления вдоль  $p$ - $n$ -перехода, можно выдвинуть гипотезу, объясняющую образование каналов генерации в инжекционных лазерах.

Рассчитанный, исходя из рис. 1, градиент показателя преломления  $dn/dx = 10^{-4} \text{ мк}^{-1}$  вполне достаточен для того, чтобы существенно искривить траекторию луча света, распространяющегося перпендикулярно градиенту показателя преломления. Наличие максимума функции  $n(x)$  должно приводить в этом случае к фокусировке излучения и образованию канала генерации в окрестности этого максимума, что и видно на рис. 2. Возникновение каналов генерации наблюдается также в областях с минимальными градиентами показателя преломления, что отчетливо заметно на рис. 1.

Наблюдаемые закономерности канализации излучения в  $p$ - $n$ -переходах лазерных диодов подтверждают гипотезу о том, что наличие градиентов показателя преломления вдоль  $p$ - $n$ -перехода ведет к образованию каналов генерации в инжекционных лазерах.

Физический факультет  
Московского государственного  
университета  
им. М.В.Ломоносова

Поступило в редакцию  
28 июня 1968 г.

#### Литература

- [1] I. Nathan, B. Fowler, G. Burns. Phys. Rev. Lett., 11, 152, 1963.
- [2] Л.Д.Вильнер, С.Г.Раутиан, А.С.Хайкиц. Оптика и спектроскопия, 12, 437, 1962.
- [3] F. Stern Phys. Rev., 133, A1653, 1964.